

# Determinación de la Constante de Planck Utilizando una Lámpara de Tungsteno.

Laboratorio 5 - Departamento de física- FCEyN- UBA-Dic.2000  
Luis Martino y Verónica Raspa - veronicaraspa@ciudad.com.ar

Con un modelo simple y un montaje al alcance de cualquier estudiante de grado, se midió la constante de Planck con un error menor al 5%. El resultado obtenido fue  $h = (6,5 \times 10^{-34} \pm 0,3 \times 10^{-34})$ . Pudo modelarse la relación funcional entre la temperatura y la resistencia de la fuente utilizada a través de una ley potencial de exponente  $(0.817 \pm 0.002)$ .

## Introducción:

Toda superficie cuya temperatura sea mayor que la del cero absoluto, emite radiación térmica. En los diversos procesos que originan la radiación, se emite un espectro completo de longitudes de onda. Por lo tanto deberíamos esperar que la rapidez de emisión de energía integrada sobre todo el espectro, aumente con la temperatura a causa del incremento de la agitación térmica de sus moléculas, así como también que fuese proporcional al área de la superficie.

En este trabajo se determinó la constante de Planck, a partir de la radiación de cuerpo negro<sup>(1-3)</sup> del filamento de una lámpara de tungsteno.

Se asumió que la potencia eléctrica disipada fue enteramente emitida como radiación y que el filamento utilizado es un cuerpo negro perfecto.

La radiación de cualquier superficie, es emitida como cuantos de energía, de acuerdo con la ley de Planck. Cada cuanto tiene una energía  $\epsilon = h\nu$ , donde  $\nu$  denota su frecuencia y  $h$  la constante de Planck ( $6.6261762 \times 10^{-34}$  J.s).

La ley de Planck<sup>(4)</sup> conlleva a la siguiente distribución de frecuencias para la intensidad de radiación de un cuerpo negro a una temperatura  $T$ .

$$I(\nu, T) \equiv \frac{8\pi \cdot h}{c^3} \frac{\nu^3}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1} \quad \text{Ec.I}$$

Donde  $c$ , es la velocidad de la luz,  $k$  la constante de Boltzmann ( $1.38 \times 10^{-23}$  J°K) y  $h$  la constante de Planck.

Podemos expresar el cociente de dos intensidades medidas a la misma frecuencia para dos temperaturas diferentes  $T_1$  y  $T_2$ , de la siguiente forma:

$$\frac{I_1(T_1)}{I_2(T_2)} \equiv \frac{\exp\left(\frac{h\nu}{kT_1}\right) - 1}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT_2}\right) - 1}$$

Si  $h\nu \ll kT$  entonces  $\exp(h\nu/kT) \gg 1$ , y en estas condiciones, la ecuación anterior puede ser expresada como:

$$\frac{I_1(T_1)}{I_2(T_2)} \approx \exp\left(\frac{h\nu}{k} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right) \quad \text{Ec.II}$$

## Montaje experimental:

Un esquema del montaje utilizado puede verse en la figura 1.

Se utilizó como fuente una lámpara de tungsteno de 40 watts de potencia alimentada por un autotransformador (0-240V).

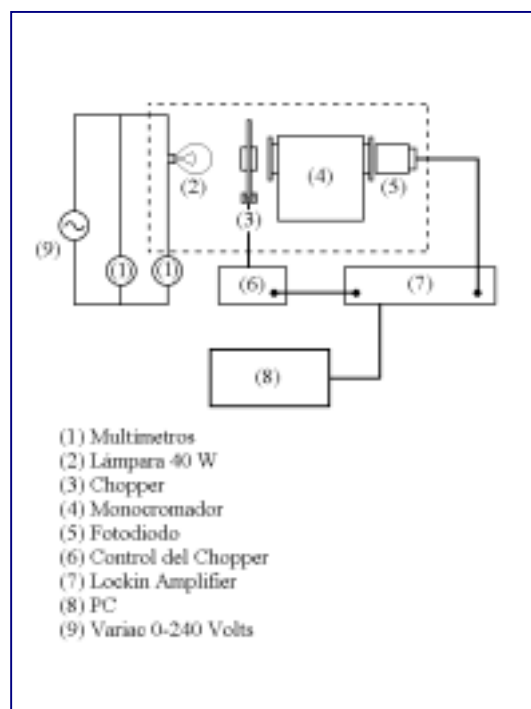


Fig.1: dispositivo utilizado

Como selector de longitudes de onda, se utilizó un Monocromador Czerny-Turner con un rango de operación de hasta 800nm. Fue necesario remover las rendijas de entrada y salida para lograr una señal mayor.

El detector empleado fue un diodo de silicio de respuesta espectral 350-1100nm, colocado a la salida del Monocromador.

Se conectó el diodo a la entrada de corriente de un lockin ( $10^6$  V/A, sensibilidad 500mV) y se utilizó como señal de referencia la provista por un chopper ubicado a la entrada del Monocromador. Este dispositivo provee una señal pulsada al permitir o no el paso de la luz; que el lockin utiliza para eliminar el ruido ambiental de la señal proveniente de la lámpara y entrega de esta forma, una señal volteaica amplificada que es adquirida por una PC. Pueden registrarse así valores proporcionales a la intensidad de la fuente.

Es importante aclarar que todo el dispositivo mencionado anteriormente se colocó dentro de la caja que está representada en la figura 1 y que puede verse detalladamente en la figura 2.

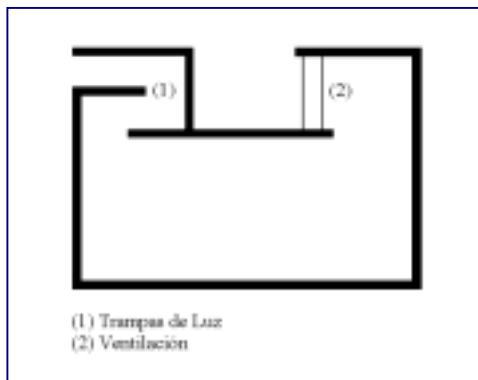
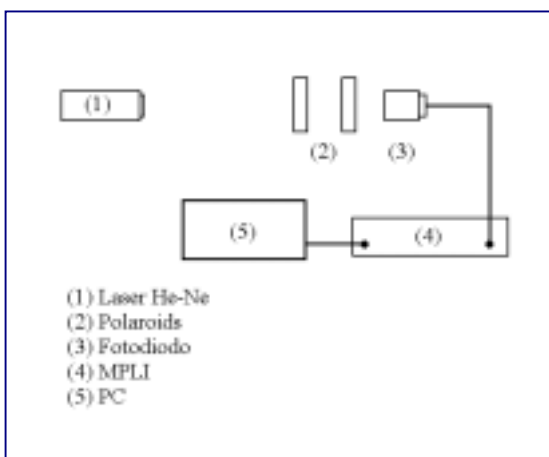


Fig.2: esquematización de la caja

Cuenta con un orificio portalámparas, así como también con un recubrimiento de pintura negra mate realizado con el fin de absorber cualquier reflexión interna que pudiese aportar ruido a la medición de intensidad. Se caracteriza además por tener dos trampas de luz que evitan el recalentamiento de la cavidad.



Una de ellas puede ser desmontada para permitir un cómodo acceso a su interior, lo cual es imprescindible para lograr un alineamiento preciso de los otros componentes del montaje. La refrigeración fue reforzada con dos ventiladores alimentados por una fuente de 12V DC.

*Determinación de la Constante de Planck Utilizando una Lámpara de Tungsteno*

Se utilizaron además, dos multímetros en las mediciones de corriente y voltaje necesarias para obtener la resistencia del filamento.

Fue necesario, verificar la linealidad entre el voltaje entregado por el diodo y la intensidad de la lámpara, para ello se empleó el dispositivo que puede verse en la figura 3.

Se utilizó como fuente un láser de helio-neón y como detector un diodo de silicio.

Para lograr una variación en la señal entregada por el diodo, se colocó frente a él, un analizador en serie con un polarizador y fue modificándose sucesivamente el ángulo entre las dos direcciones de polarización. La escala graduada del polarizador permitió registrar esta variación.

Se tomaron mediciones durante 10 seg. para cada posición angular y se consideró el promedio. Fig.3: montaje utilizado en la calibración del diodo detector

Se utilizó una tarjeta de adquisición de datos, a través la tarjeta de adquisición MPLI.

La relación voltaje-intensidad obtenida puede verse en la figura 4.

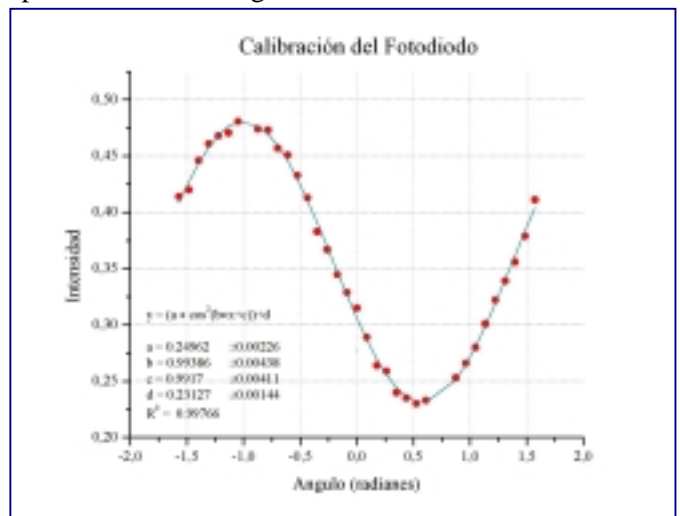


Fig.4: calibración del diodo

que

$$V \propto \cos^2(\theta)$$

(donde  $\theta$  es el ángulo entre la dirección del analizador y la del polarizador) y por lo tanto, si consideramos que  $I \propto \cos^2\theta$  (5), podemos afirmar que  $V \propto I$ . De esta forma queda verificada la relación lineal entre la señal volteaica del diodo y la intensidad de la fuente.

▪ **Procedimiento:**

Una vez fijada la longitud de onda en 650 nm, modificando el voltaje de alimentación, se realizaron variaciones sucesivas en la intensidad de la lámpara (y por ende en su temperatura).

Se registró la señal proveniente del detector en la PC, durante 70 segundos en cada caso; considerando el promedio de estas mediciones como el valor representativo de la intensidad a una temperatura dada y a la dispersión de estos datos, como su error.

Con el fin de minimizar el ruido que pudiese introducir el chopper a la medición, se fijó su frecuencia en 218 Hz. Este valor de minimización fue establecido a través de la función ruido del lockin.

En cada medición, se registraron los valores de corriente y voltaje. Se obtuvo así, el valor de la resistencia del filamento en cada caso.

Análogamente se repitió este procedimiento para una longitud de onda de 670 nm.

A través del ajuste de valores tabulados<sup>(6)</sup>, modelamos la relación funcional de la resistencia con la temperatura. Luego de sucesivos ajustes con diferentes clases de funciones (polinómicas exponenciales y potenciales), se escogió el siguiente modelo:

$$T(R) \equiv \left( \frac{R}{R_{300K}} \right)^\gamma \quad \text{Ec.III}$$

$\gamma = (0.817 \pm 0.002)$   
 $R(300K) = (92.1 \pm 0.1) \Omega$

Esta elección está fundamentada en la comparación entre los coeficientes de correlación correspondientes a cada caso.

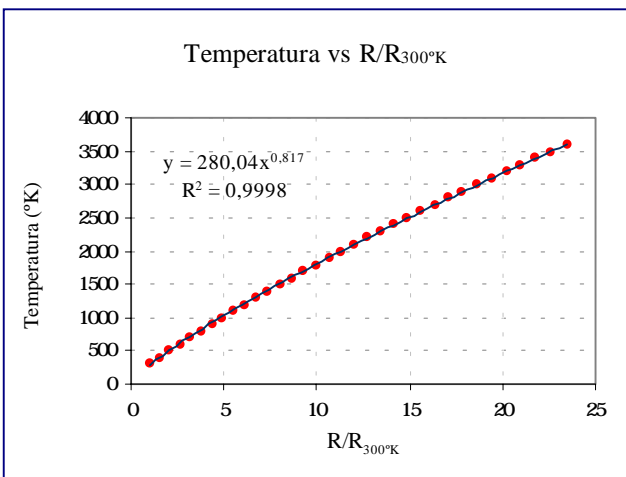


Fig.5: relación funcional resistencia-temperatura para un filamento de tungsteno

El ajuste realizado puede verse en la figura 5.

Se calculó considerando la frecuencia correspondiente, el valor de la constante de Planck a partir de la pendiente de la recta que muestra la ecuación IV.

$$\frac{1}{\nu} \ln \left( \frac{I \epsilon_0}{I_0 \epsilon} \right) \equiv \frac{h}{k} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \quad \text{Ec.IV}$$

- $\nu$ : Frecuencia
- $\epsilon(t)$ : emisividad
- $I_0$ : intensidad mínima
- $I$ : intensidad
- $T$ : temperatura
- $T_0$ : temperatura mínima
- $h$ : cte de Planck
- $k$ : Cte de Boltzmann

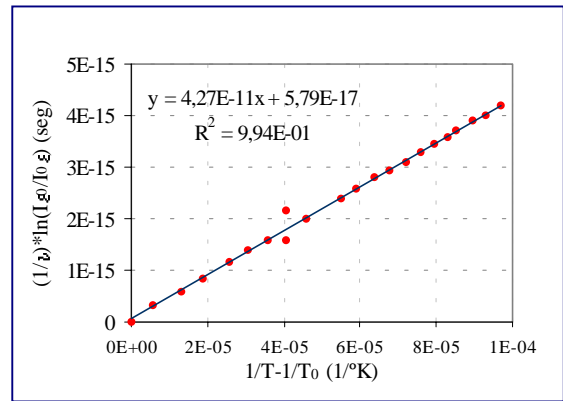


Fig.6: ajuste realizado en la medición a  $4.62 \times 10^{14}$  Hz.

Los ajustes realizados pueden verse en las figuras 6 y 7.

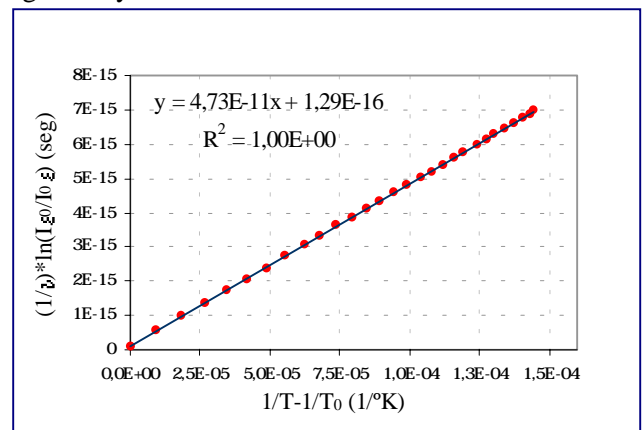


Fig.7: ajuste realizado en la medición a  $4.48 \times 10^{14}$  Hz.

Los resultados del ajuste fueron:

$\nu = 4.62 \times 10^{14}$  Hz.  
 Pendiente:  $(4.3 \times 10^{-11} \pm 5 \times 10^{-12})$  seg.°K  
 Ordenada:  $(6 \times 10^{-17} \pm 3 \times 10^{-17})$  seg.  
 $R = 0.994$

$$\nu = 4.48 \times 10^{14} \text{ Hz.}$$

Pendiente:  $(4.7 \times 10^{-11} \pm 2 \times 10^{-12}) \text{ seg.}^\circ\text{K}$

Ordenada:  $(1 \times 10^{-16} \pm 1 \times 10^{-16}) \text{ seg.}$

R=0.9999

Los errores expuestos anteriormente fueron obtenidos a través de cuadrados mínimos ponderados. La incerteza en la temperatura fue estimada propagando el error de la resistencia en la ecuación III. El error en la intensidad fue considerado como la dispersión en la medición de la señal del detector.

Los resultados obtenidos en ambas mediciones coinciden dentro del rango de error con el valor tabulado de  $h/k=4.73 \times 10^{-11} \text{ Kseg.}$  Los errores porcentuales fueron del 11.7% y 4.6 % respectivamente para la primera y segunda medición. Esto puede justificarse tras la observación de la figura 6 en donde existe una mayor dispersión de los puntos.

En ambos casos, los valores obtenidos para la ordenada al origen tienen la misma magnitud que su incerteza, por lo tanto pueden considerarse nulos como se esperaba.

Por otra parte, los coeficientes  $R^2$  muy cercanos a uno en ambos casos, muestran una muy buena correlación de los datos.

Los resultados obtenidos para la constante  $h$ , pueden verse en la figura 8.

$\nu$ [Hz.]	$h$ [J.s]	$\Delta h$ [Js]
$4.62 \times 10^{14} \text{ Hz}$	$6,0 \times 10^{-34}$	$7 \times 10^{-35}$
$4.48 \times 10^{14} \text{ Hz.}$	$6,5 \times 10^{-34}$	$3 \times 10^{-35}$

Fig.8: resultados obtenidos

### ▪ Conclusiones:

Se midió  $h=(6,5 \times 10^{-34} \pm 3 \times 10^{-35}) \text{ Js}$ , con un error del 4.6%.

Debido a que el valor obtenido para  $h$  coincide dentro del rango de incerteza con el valor tabulado, concluimos que el modelo potencial describe adecuadamente la relación funcional entre la resistencia y la temperatura de la fuente. El exponente hallado fue  $(0.817 \pm 0.002)$ .

### ▪ Agradecimientos:

Queremos agradecer al Dr. Alfredo Juan (Universidad Nacional del Sur), así como también a los Dres. Moises Tichler y Marcelo Gimenez (INTI-Dpto de Física) por su colaboración y sugerencias en la realización de este trabajo.

*Determinación de la Constante de Planck Utilizando una Lámpara de Tungsteno*

### ▪ Bibliografía:

[1] R.E.Crandall and J.F.Delord, "Minimal apparatus for determination of Planck's constant", Am.J..Physics.**51**, 90-91 (1983).

[2] J.Dryzek and K.Ruebenbauer, "Planck's constant determination from black-body radiation", Am.J.Phys. **60**, 251-253 (1991).

[3] G.Brizuela and A.Juan, "Planck's constant determination using a light bulb", **64**, (819-821).

[4] R.M. Eisberg, Fundamentals of Moderns Physics, 2<sup>nd</sup> ed. (Wiley, New York, 1967), pp.331-342.

[5] F,W,Sears, Fundamentos de Física III-Optica,3ra ed. (Aguilar ediciones, Madrid,1963), pág. 183.

[6] Handbook of Chemistry and Physics, 44ed, (The Chemical Rubber Publishing Co, USA, 1962), pág.2671